

美術史研究者のための保存環境学講座 その(1)

《キーワード》保存・温湿差 光 空気環境 生物

三 浦 定 俊

(東京文化財研究所保存科学部長 東京芸術大学大学院教授)

一. 文化財の保存環境

文化財の保存環境とは、文化財を傷める要因に従ってその周囲の環境を整理したものである。要因の中には、光のように長い時間がかって退色させ文化財を傷めるものもあれば、火災のように短時間で文化財に被害を及ぼすものもある。また運搬の際の振動のように、作品を館内から移動することがなければ考慮しないで済むものもあるが、保存環境としては、作品がその長い一生の中でどこかで遭遇するかもしれない危険まで含めて、表1のようにおおまかに分類して整理する。

文化財の「保存環境」という言葉が使われるようになったのは、そう古いことではない。一九六七年に江本、門倉がはじめてこの言葉を使っているが、この時は大気汚染としての「環境」の意味である。その後、石川と新井が一九七六年に使用しているが、この時は温湿度、照度などいわゆるMuseum climateの意味で用いている。

表1のように保存環境をより広い意味で用いるようになったのは、Preventive conservationと呼ばれる、文化財の環境整備に重点を置いた保存方法が世界で提唱されるようになったことを受けて、著者らが使い始めてからである。⁽⁴⁾⁽⁵⁾ その一つの現れが、一九九五年に東京芸術大学大学院美術研究科の文化財保存学専攻に設置された、東京文化財研究所との連携併任分野「システム保存学」の中の保存環境学講座である。この講座の設置計画の中でその内容として「文化財が置かれている屋内、屋外の環境を対象に、その劣化に関係している温度、湿度、光、空気汚染、生物などの環境因子と材料の劣化との関連をしらべ、保存の方法を考究する」と書かれている。

表1では文化財の劣化要因を分野ごとに分類したが、実際にそれらの劣化がどこで起きるかによって分類することもできる。図1に示すように、文化財の劣化要因は大気汚染や雨水のように外部に発生源があるものと、建築材料からの室内汚染や照明のように室内に発生源があるものとに分けることができる。ここでは、博物館や美

術館に勤務する美術史研究者を対象に、通常的环境下で問題になる
(1) 温湿度から(4) 生物までを解説する。

(1) 温 湿 度	温度・熱	
	湿度・水分	
(2) 光	人工照明	蛍光灯（白色、昼光色、電球色） 白熱灯（白熱電球、ハロゲンランプなど）
	自然照明	
(3) 空 気 汚 染	大気汚染	硫黄酸化物
		窒素酸化物
		塩化物
		オゾン
	室内汚染	塵埃
		有機酸（蟻酸、酢酸など）
		アルデヒド類（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなど）
		硫黄・硫化物 アルカリ性物質
(4) 生 物	微 生 物	カビ、苔、地衣類
	動 物	昆虫（シロアリなど） 鳥（ハトなど）
	植 物	樹木
(5) 振動・衝撃		
(6) 火災・地震		
(7) 盗難・人的破壊		

表 1. 文化財の劣化要因

文化財の劣化は摩耗や風化などの物理的劣化と金属の酸化やセル
二 一 温度
二 温湿度

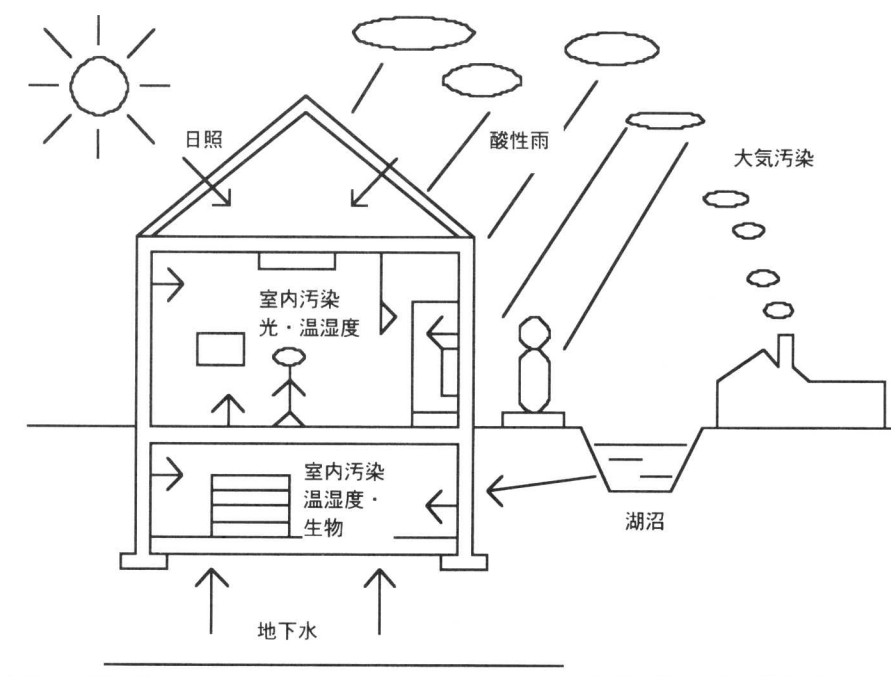


図 1. 博物館・美術館における文化財の劣化要因

ロース・蛋白質の分解などの化学的劣化、虫やカビなどによる生物
 的劣化に分類することができる。化学的劣化は温度が高いほど速く
 進むので、温度が低い場所ほど文化財は長い時間良く保存される。
 例えば凍土地帯ではマンモスの遺体がいかに良い状態で発見され
 る。しかし博物館では展示室と収蔵庫で温度差がありすぎると、展
 示する時に文化財の表面に結露する恐れがある。そこで観覧客にと
 って快適な二〇℃前後に設定して、収蔵庫では一日や季節の変化幅
 を小さく押さえるように設定される。フィルムのように複製を使用
 できるものについては、オリジナルフィルムを一〇℃ないしはそれ
 以下の温度に保った収蔵庫で保存する。

二、二 湿度

湿度も温度と同様、水分が多いほど加水分解などの化学的劣化は
 進みやすくカビや錆も発生しやすい。乾燥地帯では、古い染織品が
 今でも鮮やかな色彩で残されているが、乾燥した状態が常に良いわ
 けではない。例えば巻物や書物は、乾燥すると紙にしなやかさが失
 われ裂けやすくなる。また板絵は絵具層と木材との接合部が乾燥に
 よって剥離する。日本画に用いられている膠は、四〇％以下では膠
 の膜に亀裂が入りやすくなり、逆に七五％以上の湿度では膠が空気
 中の湿気を吸って接着力を失うので、日本画は五〇～六〇％前後の
 環境に保存するのがよいといわれている。

国際的にはIIC（国際文化財保存学会）、ICOM（国際博物
 館会議）、ICCROM（文化財保存修復研究国際センター）など
 が表2の値を、文化財保存のための温湿度として勧めている。推奨

値として多くの文化財について温度二〇℃前後、湿度五五～六五％
 が示されているが、これらの条件を適用するに当たっては、保存環
 境の履歴や気候を充分考慮しなければならない。例えば年平均湿度
 が八〇％以上もあるような寺社から仏像や襖絵などを運んできた時
 には、直ちに湿度五〇％程度の会場で展示すると乾燥によるひび割
 れが生じる。このような心配がある時には梱包したまましばらくお
 いて、周囲の温湿度への慣らしをおこなう。

(1) 温度	約20℃（人間にとって快適な温度） フィルムについては、黑白フィルム15℃、カラーフィルム2℃（ISO規格）	
	高湿度 100%	出土遺物（保存処置前のもの）－防黴処置が必要
(2) 湿度（相対湿度）	中湿度 55-65%	紙・木・染織品・漆
	50-65%	象牙・皮・羊皮紙・自然史関係の資料
	50-55%	油絵
	45-55%	化石
	低湿度 45%以下	金属・石・陶磁器－塩分を含んだ物は先に 脱塩処置が必要
	30%	写真フィルム

表2. 材質に応じた温湿度条件

二、三 空調

校倉や土蔵などは壁材の断熱や吸放湿により、中の温湿度の日変化がたいへん小さい。巻物などを納める保存箱も、桐のように軽くて吸放湿が速く透湿係数の高い材を、湿気をほとんど通さない漆と組み合わせることによって、できるだけ湿度を一定に保つようになっている。しかしわが国の気象条件では、空調がないと室内の年平均相対湿度が七〇%を越え、特に気温の高くなる夏期には収納品に黴や虫が発生しやすい。そのため少なくとも除湿はできるようにすべきである。また絵画・木製品・漆工芸品など乾燥に弱い文化財を収蔵する施設は加湿器も必要で、展示ケース内や収蔵庫内で使用する場合は、水に含まれる石灰分の付着を防ぐために、噴霧式ではなく蒸発式の加湿器を用いる。

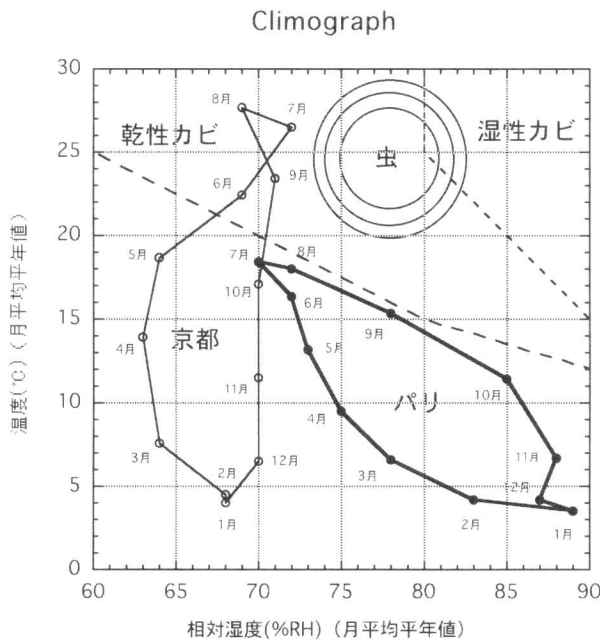


図2. 京都とパリの気候の比較 (クライモグラフ)

博物館などで空調を行う時には必ず相対湿度も調節できる機器を使用し、空調系統は収蔵庫と展示室を別々にして、絵画・染織品のように細かな配慮が必要なことから、土器・陶磁器のように比較的温湿度に神経を使わないですむものなどに分けた、収蔵目的別の空調系統にすることが望ましい。収蔵庫の壁は二重とし、内壁には木材や調湿ボードのような調湿効果のある材料を用いる⁽⁶⁾。その際、脂の多い木材を用いたりすると室内汚染の原因となる。空調は収蔵・展示する文化財の場所をあらかじめ考慮して、直接風が当たらないような位置に吹き出し口を数多く分散して配置し、風向も拡散できるように吹き出し口の構造とする。

展示ケース内の空調については、(a)自然換気方式、(b)調湿剤を用いる方式、(c)空調機を用いる方式の三種類がある。(a)自然換気方式については展示室内の空気をケース内に流すので、展示室内の塵埃がケース内に入らないよう空気取入れ口にフィルターを用いなければならぬ。それでも見学者の出入りによる室内の温湿度変動がケース内にそのまま伝わる欠点があるので、空調の不完全な展示室では自然換気方式は勧められない。

(b)調湿剤を用いる方式は密閉度の高いケースを用いるので、あまり大きな展示ケースは実現が困難である。ときどき調湿剤を交換する手間はあるが、汚染物質など外界からの影響を受けにくいので重要な文化財を展示するときにはこの調湿剤を用いた方法が用いられる。ただし使用する材料や使用前の換気に注意を怠ると、かえって内装材からの汚染物質で文化財を傷める危険があるので注意を要する。

(c)空調機を用いる方法は調湿剤では調節しにくい壁付きの大きなケースなどに利用されている。空気はケース前面のガラスに沿って上から下へ緩やかに流すようにする。展示品に応じて内部の湿度を変更できる利点があるが、湿度を保つためには恒常的に空調機を運転させなければならない。設計上は二十四時間空調の予定でも、経費節約のために開館後に昼間のみの空調に変更したり、完全に止めてしまうなど設計の時には予想しなかった問題が生じる。

この他、空調機や自然換気を用いる方法ではしばしば、外からは見えない展示ケース床下からの埃や汚染を拾っていることがあるので注意を要する。特に展示ケース下の床はコンクリートがむき出しになっていることが多く、そこから発生する埃やアルカリ物質の影響が展示ケース内に強く現われる。施工の時には展示ケース下の床や二重壁の外壁で内側に面した部分など、外から見えない部分も丁寧に施工して、室内に影響を与えない配慮が必要である。

三．光

三．一 光による退色

光による退色は赤外線や可視光線より紫外線が危険である。赤外線による退色はごく小さいが、長時間当てることにより漆など表面が黒色のものの温度を上昇させて、乾燥の原因を作る。可視光線は紫外線に比べて退色の危険度は小さいが、紫や青など波長の短い可視光による影響は無視できない。しかし青い光だけを除去すると色味が損なわれてしまうので、目に見えない光は除去し、目に見える光は総量（明るさと時間の積算値）を規制する方法が採られる。す

なわち博物館や美術館の展示には赤外線や紫外線をださない照明を用い、照度をおおよそ一五〇ルクス以下に押さえ、約一ヶ月ごとに展示替えをする。照度を下げることにより、普通の照明では青白い感じになってしまうので、展示の時には色温度の低いやや赤味を帯びた光を用いるなど、鑑賞に配慮した工夫が行われる。

三．二 照明

最近ではデザインを重視して展示照明に外光を取り入れている施設が増加している。外光を取り入れると会場が明るくなり、必然的に文化財への照明が基準以上になる。また窓ガラスに紫外線除去処置を施していても、紫外線吸収フィルムは時間が経つにつれて劣化するるので、貼り替えなどの保守をしなければならない。このため外光を採り入れた施設ではどこでも開館後に苦勞するので、外光の採り入れはロビーなど展示品のない部屋に限り、外光を採り入れた場所から展示室へ向かって次第に照度を落とすなど、観客の動線を考慮した照明計画の工夫が必要である。

収蔵庫の照明も展示室と同様に紫外線を出さない照明を用いるべきである。収蔵庫の照明は人が中に立ち入るときだけしか使用しないから、展示室より明るく学芸員が作業をしやすい七〇〇ルクス程度にし、消し忘れがないようにスイッチは収蔵庫入り口に配置する。またコンセントなど収蔵庫内の電源は火災予防のために、収蔵庫の外部からすべて切れる配線にする。

	ICOM（1977）	照明学会（1999）
(1)光に非常に敏感なもの 染織品・衣装・タピストリー 水彩画・日本画・素描 手写本・切手・印刷物・壁紙 染色した皮革品・自然史関係標本	50 できれば低い方がよい (色温度 約2,900K)	50 (1日8時間年300日で 積算照度120,000lx・h)
(2)光に比較的敏感なもの 油彩画・テンペラ画 フレスコ画・皮革品・骨 角・象牙・木製品・漆器	150-180 (色温度 約4,000K)	150 (1日8時間、年300日で 積算照度360,000lx・h)
(3)光に敏感ではないもの 金属・ガラス・陶磁器・宝石 エナメル・ステンドグラス	特に制限なし ただし300lxを越えた 照明を行う必要は ほとんどない (色温度 約4,000-6,500K)	500

ICOM：International Council of Museum, Paris（国際博物館会議）

表3. 美術館・博物館における展示照明の推奨照度（単位 ルックス (lx)）

(1)屋外に発生源	硫黄酸化物	工場等（硫黄を含む燃料の燃焼）
	窒素酸化物	自動車等
	塩化物	海塩粒子
	オゾン	自動車等
	硫化水素	火山ガス
	粉塵	自動車、工場、火山、海浜、土埃等
(2)屋内に発生源	アルカリ物質 (アンモニアNH ₃ 等)	コンクリート（骨材中の不純物、セメントの添加物等）
	アルデヒド類	ホルマリン（木材用防虫剤）、 尿素系やフェノール系のホルムアルデヒド合成樹脂（パーティクルボード、繊維板、ベニヤ合板等の接着剤）、 紙等のコーティング
	有機酸	酢酸ビニル（板や布、紙などの接着剤）、木材
	硫黄、硫化物	合成ゴム、接着剤
	炭酸ガス	人間、開放型の燃焼器具、タバコ（一酸化炭素）

表4. 博物館・美術館における空気汚染因子

四、 空気環境
四、 一 大気汚染と室内汚染
空気汚染は屋外に発生源がある大気汚染と室内に発生源がある室内汚染とに分けられる。大気汚染の文化財への影響については、屋外に展示された石・金属製の彫刻、石造建造物などに硫黄酸化物（SO_x）が被害を与えることはよく知られているが、オゾン（O₃）、窒素酸化物（NO_x）による天然染料などへの影響もある。

室内汚染は文化財にごく近い場所から発生するだけに影響が大きい。構造材や内装材に用いている材料から発生する微粒子や、揮発性ガスが文化財を傷める。代表的なものがマンシヨンなどでシックハウス症候群を引き起こすホルムアルデヒドで、新しい展示ケース内に入ると刺激臭があつて目が痛くなったりするのは、展示ケース内に充滿したアルデヒドや有機酸のためである。ホルムアルデヒドは合板やパーティクルボード、塗料などから発生し、表面の水分とホルムアルデヒドが反応してギ酸ができ、金属、ガラス、顔料などを腐食、変色させる。また布を貼るときに用いる接着剤から酢酸が出て、金属や顔料に同じような影響を与えることがある。

新築の建物では、新しいコンクリートから発生するアルカリ物質によってアミノ油が黄褐変し、油絵の表面に白い粉を生じたりする。アルカリ物質はコンクリートに含まれるカルシウム、マグネシウムなどの無機炭酸塩、塩基性炭酸塩や、クリンカーの粉砕補助剤や骨材が原因となつて発生するアンモニアがその主成分であり、コンクリート中の水の蒸発に伴つてアルカリ物質も放出されると考えられている。このような新築施設のアンモニア濃度は外気の十倍程度に上る。

四、二 汚染物質対策

外界から侵入する大気汚染物質は、外気取入れ口に除去フィルターをつけて低減できる。ただし粉塵除去フィルターの中にはオゾンを発生するものがあり、静電式フィルターなどは収蔵庫内での使用を避けなければならない。

室内汚染に対する対策は使用する材料を選ぶことから始まる。内装に用いる木材には樹脂分の少ないもので、アルデヒド類を出さない材料を用いる。アルカリ物質には、あらかじめ打設して養生後加熱処理を行ったプレキャストコンクリートの使用や、ガス吸着シートの使用なども有効である。アルカリ物質を除去するための、ゼオライトや活性炭などを用いた吸着フィルターも市販されている。

室内汚染は様々な要因が複合して起きるので、材料を厳選してもなお、棚や仕切壁など後からの工作物により問題が起きることがある。そこで竣工後一年までは一カ月に一回、竣工後二～三年では六カ月に一回、変色試験紙を用いて経過を観察するなど、建物内の空気環境のモニタリングが何よりも重要である。空気がアルカリ性側に偏る場合、コンクリート躯体からアンモニアなどのアルカリ性物質が放出されていることが考えられる。見かけの湿度は空調で調節できるのに対し、コンクリート躯体から放出されるアルカリ性物質の量はコンクリート躯体の乾燥程度と結びついているため、館内環境の安定を測る指標と考えることができる。もしいつまでも改善されない場合には、コンクリート躯体の施工不良による雨漏りや地下水脈からの漏水も疑われる。反対に酸性側に偏る場合には、使用した木材や接着剤など内装材料に原因があることが多い。接着剤や新建材から揮発性の有機物系の汚染物質がでている場合は、通風を促して汚染物質の濃度を下げることが最も有効な手段である。

収蔵庫は、はじめに内装材からの影響が表れて室内空気は酸性に偏り、材料が「枯れて」くるに従つてコンクリートの影響が表れてアルカリ側に偏る。その過程で酸性とアルカリ性が拮抗して、見

かけ上中性になることがあるので、空気環境の調査は良くなったらすぐに中止するのではなく、しばらく経過を観察することが必要である。

多くの文化財公開施設における調査結果から、環境が安定するまではコンクリート打設後二十カ月程度かかることが統計的にわかっている。施設が竣工しても急いで文化財を新築の建物内に持ち込まず、環境のモニタリングと換気を行ないながら屋内環境が安定するまで経過観察をする。それができる時間的余裕を、設計の段階から取っておくことが博物館・美術館の建設には必要である。

五. 生物

五. 一 カビと虫

生物による被害は、日本では微生物（カビ）と昆虫によるものが大半である。生息条件は生物により違うが、一般に高温多湿を好み、通気が悪く目の届きにくい場所で次々に繁殖して、被害が急速に増大する。このため早期の発見が極めて重要である。これまでの生物被害対策は、カビに対しては殺菌、虫に対しては殺虫という、処置を中心にした考え方であったが、二〇〇五年からはすべての先進国で、殺虫燻蒸剤として広く使用されてきた臭化メチルがオゾン層破壊物質として全廃される。そのためカビや虫を発生させない環境作りを目指した対策が、世界の主流となってきた。

文化財の害虫はその食性から、植物性資料を好んで食害する虫と、動物性資料を好んで食害する虫に分けることができるが、生態から見ると「文化財の外部で生息して加害する昆虫」と、「一生の大半

を文化財の内部で過ごして加害する昆虫」に分けることもできる。被害防止のためには、前者に対しては収蔵区画内への侵入を防ぐようにし、後者は早期に発見して対処する。成長の過程で幼虫・蛹・成虫と変態する昆虫の多くは、幼虫と成虫とで住む場所や食性が変わる場合が多く、発見・駆除の仕方も異なってくる。

カビの胞子は乾燥に強く、粉塵とともに空气中を浮遊して、栄養と湿気があれば発芽し菌糸体を作って周りに広がっていく。育ちやすい湿度条件はカビの種類によって異なる。普通見かけるアオカビやクロカビは相対湿度八〇％以上でないと生えないが、レンズなどに生える乾性カビ（絶対好稠菌）は相対湿度が六〇―六五％以上なら生育する。発生したカビは相手から養分を摂取し、酸や色素を出してその表面を傷めるので、文化財についていたカビはできるだけ早く殺菌・除去しなければならない。またたとえ文化財ではない箇所にカビが出た場合でも、チャタテムシなどの他の生物の栄養源となるから殺菌・除去しておく必要がある。

ハト・カラスなどの鳥類も文化財を食害したり汚す場合がある。ネズミは文化財だけでなく建物や電気コード等の設備をかじって被害を起こす。さらに昆虫やネズミなどの死骸、糞・巣を放置しておくと、カツオブシムシ等がそこから発生して二次的な被害を引き起こすので、駆除した後には速やかな清掃が必要である。

五. 二 生物被害対策

カビ、苔、地衣類などは、温度、湿度がある一定の条件（一般に温度が二〇℃以上、相対湿度が七〇％以上）を満たしたときに繁殖

するので、そのような条件を作らないように温湿度や水まわりを整備する。湿ったり濡れたりしている場所では木材腐朽菌、コケ・藻類のほか、地衣類なども繁殖しやすいし、通気の悪いところではバクテリア等が繁殖し悪臭が生じる。そんな場所が収蔵庫の内部や二重壁の内側などにならないようにする。また扉や窓の隙間などから虫や埃が侵入するので、外に面した扉や窓で立て付けが悪いところがないか点検することもある。施設設計の面からは、こまめに清掃しやすいよう、複雑な形の施設設計を避けることも重要である。過去の被害歴を集積すると、生物被害の起きやすい場所が明らかになって対策が立てやすい。

樟脳、ナフタリン、パラジクロルベンゼンなどの防虫剤の使用も時に有効である。ただしこれらの薬剤の混用や必要量以上の使用は、資料の材質・人の健康への影響があるので避けなければならない。

もしカビや虫の被害を発見したときには、まず被害の広がりを確認し、被害状況の写真を撮り記録する。その後で被害を受けた文化財を透明なポリエチレンなどの袋に入れて別室（燻蒸室など）に移動して、他の文化財から隔離しなければならない。木粉が落ちていればその中に虫の死骸や糞が含まれていることがあり、採取して専門家に依頼すれば虫の種類を同定できる場合がある。

殺菌、殺虫方法として、薬剤を使用する方法と使用しない方法がある。薬剤を使用しない方法としては、低酸素濃度処理法（窒素ガス、脱酸素剤）、温度処理法（低温処理、高温処理）、炭酸ガス処理法などをあげることができる。ただしいずれの方法も万能ではなく、資料の大きさや材質に応じて適切な手法を選ばなければならない。

薬剤を用いる方法としては、ガス燻蒸法（臭化メチル、酸化エチレン、弗化サルフリルなどを使用する）が代表的なものである。大空間を短時間で確実に殺虫または殺菌できる点が長所であるが、臭化メチルは二〇〇五年から使用禁止となり、酸化エチレンも発ガン性が指摘されるなど、長期的な観点に立つと薬剤を使用しない方向に進んでいる。また殺虫・殺菌処理はあくまでもそのとき資料に付いている虫やカビだけを殺すもので、環境が適切でなければたとえ燻蒸後であっても、再びすぐに虫やカビの被害が起こる可能性がある。殺虫・殺菌処理の効果を上げるためにも日常管理を適切に行っていくことが大切である。

(1) 薬剤を用いない方法 低酸素濃度処理法（窒素ガス、脱酸素剤などを使用） 温度処理法（低温処理、高温処理） 炭酸ガス処理法	(2) 薬剤を用いる方法 ガス燻蒸法（臭化メチル、酸化エチレン、弗化サルフリルなどを使用）
---	---

表 5. 殺虫・殺菌方法

六. 保存の考え方の変化

保存の考え方は一九八〇年代ころを境目として、傷んでしまった後からの修復を中心にした考え方から、予防を中心とする考え方 (Preventive conservation) へと大きく変化してきた。⁽⁷⁾ 博物館の保存環境を重視する考え方や、薬剤だけに頼らない生物被害防除対策 (総合的有害生物管理、Integrated Pest Management, IPM と略称される) は、そのような流れの中で出てきたもので、日本でもこの新しい考え方が普及しつつある。⁽⁸⁾ 外国の博物館・美術館から作品を借用する場合、そのような考え方に基づいた取り扱いを要求されることがあるので、ここに述べた事柄は最低限の知識として身につけておきたい。

参考文献

- (1) 江本義理・門倉武夫：文化財保存環境としての各地の大気汚染度の測定結果大気汚染の文化財に及ぼす影響 (第5報)、保存科学、3、1—22 (一九六七)
- (2) 石川陸郎：書院内の保存環境について、保存科学、12、5—18 (一九七六)
- (3) 新井英夫：障壁画保存環境の微生物、保存科学、12、35—38 (一九七六)
- (4) 三浦定俊：保存環境の評価と制御、計測と制御、28、668—673 (一九八九)
- (5) 三浦定俊・佐野千絵・石川陸郎：新設博物館・美術館等に於ける保存環境調査の実際、月刊文化財、35、34—42 (一九九三)
- (6) 文化庁文化財保護部：文化財公開展示施設設計の指針、『文化財保護行政ハンドブック』、192—208 (一九九八、ぎょうせい)

(7) 『文化財の保存と修復2—博物館・美術館の果たす役割』、文化財保存修復学会編、(二〇〇〇、クバプロ)

(8) 『文化財害虫事典』、東京国立文化財研究所編、(二〇〇一、クバプロ)

三浦定俊 (みうら・さだとし)

一九四八年 鹿児島県生れ

一九七一年 東京大学工学部卒業

一九七三年 東京芸術大学大学院修士課程修了

東京文化財研究所保存科学部部长

東京芸術大学大学院教授

(専門) 保存化学